

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-071969

(43)Date of publication of application : 19.03.1996

(51)Int.Cl.

B25J 9/22
 B25J 13/08
 G05B 19/42
 G05D 3/12
 G05D 3/12
 G05D 3/12

BEST AVAILABLE COPY

(21)Application number : 06-232479

(71)Applicant: FANUC LTD.

(22)Date of filing : 02.09.1994

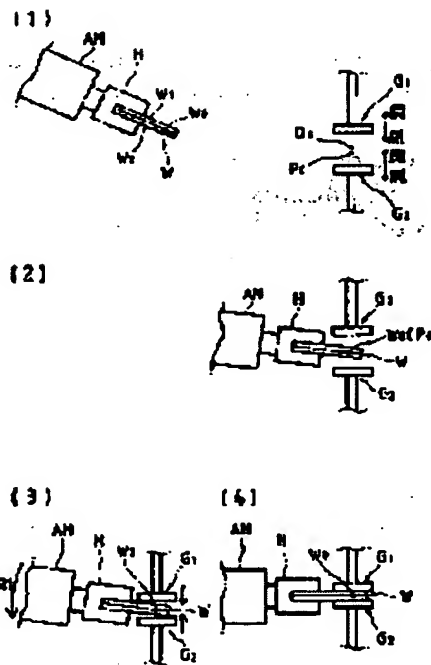
(72)Inventor: KOMI TATSUYA

(54) METHOD OF TELLING POSITION OF ROBOT

(57)Abstract:

PURPOSE: To tell a robot position simply, surely and safely by moving the robot to a position in the vicinity of an optimum told position by the use of a program reproducing operation, and by applying an external force in a direction in which a deviation from the optimum teaching position is corrected, to the robot so as to carry out soft floating servo control in this condition.

CONSTITUTION: A robot gripping a workpiece W is made to approach welding guns G1, G2 by means of a robot arm AM. This movement may be made by the reproducing operation of rough positional teaching or jog feed. Usually, the position P0 of the distal end point W0 of a tool is positionally deviated from an optimum teaching position. A host CPU instructs initiation of soft floating servo control in accordance with an input from a teaching control panel, and accordingly the soft floating servo control is initiated. The welding guns G1, G2 are deenergized and are made into contact with the workpiece W. Accordingly, a force acts upon the robot through the intermediary of a hand H, and then, with the reaction force thereof, the robot is moved in a direction AR. In this condition, the position is told.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.09.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 16.01.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3421442

[Date of registration] 18.04.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2001-002043

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 15.02.2001

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 7 1 9 6 9

(43) 公開日 平成8年(1996)3月19日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J	9/22	Z		
	13/08	Z		
G 0 5 B	19/42			
G 0 5 D	3/12	N		
			G 0 5 B 19/42	D
審査請求	未請求	請求項の数 3	F D	(全 1 4 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-232479

(22) 出願日 平成6年(1994)9月2日

(71) 出願人 390008235

ファナック株式会社

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地

(72) 発明者 近江 達也

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

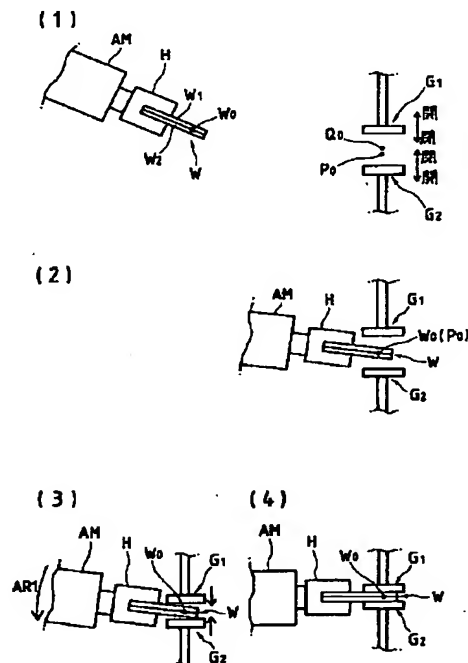
(74) 代理人 弁理士 竹本 松司 (外4名)

(54) 【発明の名称】 ロボットの位置教示方法

(57) 【要約】

【目的】 ソフトフローティングサーボ制御を利用して位置教示作業の簡略化と高精度化を図ること。

【構成】 溶接対象部材W1, W2 からなるワークWは、アームAM先端に装着されたハンドHで把持される。ロボットを(1)に示した初期位置から溶接ガンG1, G2 に接近させ、(2)の状態とする。この状態へのロボット移動は、粗い位置教示後の再生運転、ジョグ送りを適宜組み合わせて行う。この状態ではツール先端点W0 の位置P0 は、最適の教示位置Q0 とは少量ずれている。次いで、動作プログラムあるいは教示操作盤からの入力により、ソフトフローティングサーボ制御を開始させ、更に、溶接ガンG1, G2 の閉成動作を開始する。溶接ガンG1, G2 は(3)に示したように、ワークWに接触してワークW、ハンドHを介してロボットに力を及ぼす。ロボットは、この反力に抗しきれずに、矢印ARで示した移動を開始し、図9(4)の状態(閉成完了)に至る。この状態で、位置教示を実行する。位置教示は、P0 の位置データの修正または新規位置データの書込によって実行される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 位置制御ループ及び速度制御ループを備える制御系で制御されるサーボモータで各軸を駆動されるロボットに対し、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力をロボットに加える環境にある教示位置について教示を行なう方法であって、前記ロボットをプログラム再生運転を含む動作により前記最適の教示位置の近傍にロボットを移動させ、前記最適の教示位置からの位置ずれを修正する方向に作用する外力を前記ロボットに加える段階と、前記外力に従って前記ロボットが移動する制御を開始させる段階と、前記ロボットの移動後に現在位置データに基づいて前記教示位置データを修正する段階を含むことを特徴とするロボットの位置教示方法。

【請求項2】 位置制御ループ及び速度制御ループを備える制御系で制御されるサーボモータで各軸を駆動されるロボットに対し、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力をロボットに加える環境にある教示位置について教示を行なう方法であって、前記ロボットをジョグ送り操作により前記最適の教示位置の近傍にロボットを移動させ、前記最適の教示位置からの位置ずれを修正する方向に作用する外力を前記ロボットに加える段階と、前記外力に従って前記ロボットが移動する制御を開始させる段階と、前記ロボットの移動後に現在位置データに基づいて前記教示位置データを教示する段階を含むことを特徴とするロボットの位置教示方法。

【請求項3】 前記外力に従って前記ロボットが移動する制御がソフトフローティングサーボによる制御によって行なわれ、その際にソフトフローティング機能のバネ定数が予め設定された値と一致するように制御されることを特徴とする請求項1または請求項2に記載されたロボットの位置教示方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本願発明は、産業用ロボット（以下、単に「ロボット」と言う。）に位置教示を行なう為の技術に関し、更に詳しく言えば、位置ずれ時に外力が加わる環境にある教示位置に関するロボットの位置教示を簡便且つ正確に行えるようにする為の技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 ロボットに位置教示を行なう為に最も一般的に用いられている方法は、ティーチング・プレイバック方式と呼ばれている。この方法によれば、実際の作業環境に出来るだけ近い状況の下で、ツール先端点が作業実行時にとるべき位置（姿勢も含む。以下、同様。）に来るようにロボットの実機が操作され、その時のロボ

ット位置（ツール先端点の位置）がロボットに教示される。このような教示点は所望されるロボット経路に沿って、複数個指定されるのが通常である。

【0003】 従来より、上記方式による教示時におけるロボットの操作は、いわゆるジョグ送りによって実行されている。このジョグ送りによる教示作業には高度の熟練と多くの作業時間が要求されることが通常であった。即ち、正確な教示を行なう為には、ツール先端点の位置をあらゆる方向から目視によって確認しながらロボットを試行錯誤的に細かく操作する作業が必要であった。特に、位置ずれ時に外力が加わる環境にある教示位置についてロボットの位置教示を行なう場合には、細心の注意と高度の熟練を要していた。

【0004】 例えば、ロボットハンドによってワークを把持する位置を教示する場合には、ロボットハンドがワークを正確に把持出来る位置をロボットに実際にとらせる必要があるが、ロボットをそのような正確な位置にもってくる為のジョグ送り操作には高度の熟練を要し、また、ジョグ送りの最終過程あるいはハンド閉成試行時等にハンド（一般には、エンドエフェクタ）とワークの間に予期しない力がかかり易く、破損事故を招く危険性もあった。

【0005】 このように、従来の方式で位置ずれ時に外力が加わる環境にある教示位置についてロボットの位置教示を行なう場合には、エンドエフェクタに外力が作用した時にこれを回避して位置ずれに起因した外力を受けない状態にロボットを確実にもってくる技術手段を欠いていた為に、位置教示を高精度で安全に実行することが困難であった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 そこで本願発明の目的は、最適の教示位置（適正な教示位置としてみなし得る位置のこと。以下、同様。）からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力がロボットに加わり得る環境にある教示位置について、ロボットの位置教示を簡単な操作で安全確実に実行することが出来るロボットの位置教示方法を提供することにある。また、本願発明は、そのことを通してロボット作業の精度と効率を向上させることを企図するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本願発明は、位置制御ループ及び速度制御ループを備える制御系で制御されるサーボモータで各軸を駆動されるロボットに対し、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力がロボットに加わり得る環境にある教示位置について教示を行なうケースについて、上記技術課題を解決する為に、次の諸段階を含む方法を提案した。このような外力は、通常、ロボット作業に関連した対象物（把持ワーク、溶接ワーク、溶

接ガン、嵌め合い対象ワークなど）からの反力として与えられる。

【0008】本願発明に従えば、ロボットをプログラム再生運転あるいはジョグ送り操作を適宜用いて、ロボットを前記最適の教示位置の近傍に移動させ、前記最適な教示位置からの位置ずれを修正する方向に作用する外力が前記ロボットに加わる状態とする。この状態において、ソフトフローティングサーボによる制御が実行される。その為には、前記各軸の内少なくとも1つの軸について、位置ループゲイン及び速度ループゲインを変更すれば良い。

【0009】ロボットが外力（例えば、ワークからの反力）を受け、外力が弱まる方向へ移動した段階で、その時点における現在位置を前記ロボットに教示することによって、ロボットに最適位置が教示される。現在位置の教示は、既に教示済みの位置データの修正あるいは教示位置データの新規の書き込みの形態で実行される。

【0010】また、本願発明によれば、上記各方法におけるソフトフローティングサーボによる制御をソフトフローティング機能のパネ定数が予め設定された値と一致するように行なうことが併せて提案される。このような制御は、前記の少なくとも1つの軸に関する先端距離がロボットコントローラ内で求められ、それに応じて位置ループゲイン及び速度ループゲインを変更することで実現される。この提案に従えば、ソフトフローティング機能のパネ定数がロボットの姿勢に影響されない利点が生じる。

【0011】

【作用】本願発明は、通常の「硬いサーボ制御方式」の弊害を避ける為に提案され、利用されている「ソフトフローティングサーボによる制御」をロボットの位置教示に利用した点に基本的な特徴がある。そこで、先ず、本願発明で利用されるソフトフローティングサーボに制御方法について、ソフトフローティングサーボを用いない通常の制御と対比させて簡単に説明する。

【0012】ロボットのアームを駆動する各軸のサーボモータの制御は、通常、位置制御ループ及び速度制御ループを有する制御系によって制御されている。図2は、これを示したブロック図で、符号1は位置ループにおけるポジションゲイン K_p の項、符号2は速度ループゲイン K_v の項である。また符号3、4はモータの伝達関数の項であり、3はトルク定数 K_t 、4はイナーシャ J である。更に、符号5はモータ速度 v を積分してモータ位置 y を求める伝達関数である。なお、 s はラプラス演算子を表わしている。

【0013】ロボットコントローラの内部で作成される移動指令 r とモータ位置 y より位置偏差 e が求められ、該位置偏差 e にポジションゲイン K_p を乗じて速度指令 v_{cmd} が求められる。更に、速度偏差 e が、該速度指令 v_{cmd} とモータ速度 v より求められる。この速度偏

差 e に速度ループゲイン K_v を乗じてトルク指令 T_c が求められ、該トルク指令 T_c に応じた駆動電流がモータに供給される。

【0014】なお、速度ループの制御においては、図2の例ではPI制御を例として記載しているが、IP制御とすることも出来る。

【0015】このような制御系でサーボモータが制御される場合には、与えられた位置指令によって目標位置に向かってロボット乃至エンドエフェクタが移動している途中において、エンドエフェクタがなんらかの障害物に遭遇・接触しても、そのまま目標位置に向かって移動し続けるという現象が生じる。

【0016】この現象は次のように説明される。即ち、障害物の存在に関わらずサーボモータは目標位置に向かって移動しようとするが、実際には障害物によりその目標位置に移動することが阻まれ位置偏差が増大し、この位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じて得られる速度指令 v_{cmd} も増大する。そして、この増大する速度指令 v_{cmd} とモータの速度（障害物に当接しているときには、速度は「0」と考えられる。）との差は、速度ループの持つ積分器によって積分されて増大し、トルク指令 T_c は大きな値となる。

【0017】その結果、サーボモータは目標位置に達するように最大のトルクを出力するようになる。ここで障害物となるものは、ロボットによる作業（把持、溶接、機械加工、嵌め合い等）の対象物（以下、「ワーク」でこれを代表させる。）の対象物である場合が多く、従って、上記したような現象はワークとの干渉事故（衝突）の原因となる。

【0018】このような不都合を回避する為に、ソフトウェアによって制御系に「柔軟なサーボ制御」を行なわせることによって、ソフトフローティング機能を発揮させることが提案されている。これは、位置制御ループ及び速度制御ループを備えるサーボモータの制御系において、柔軟制御指令の入力時に、ポジションゲイン及び速度ループゲインを低下させることにより、速度指令及びトルク指令の値を小さな値に抑える方式である。ここでは、このような制御方式を一般に、「ソフトフローティングサーボによる制御」と呼ぶこととする。

【0019】柔軟制御指令の入力時のポジションゲイン及び速度ループゲインの決め方として、柔軟制御用の値を予め設定しておき、柔軟制御指令の入力時にその設定値に切り換える手法が従来より利用されている。本願発明で利用されるソフトフローティングサーボによる制御は、このような方式によるものであっても構わないが、本出願人に係る特願平6-24709号に添付された明細書及び図面に記載されたような改良方式を利用することも出来る。

【0020】これは、柔軟制御指令の入力時のポジションゲイン及び速度ループゲインを、そのサーボモータに

よって駆動される軸に関する先端距離に応じてソフトフローティング機能のバネ定数が設定値となるように変更するものである。この改良方式によれば、先端距離が変化しても、駆動体先端での柔らかさが一定に保たれる利点を得られる（詳細については、上記出願関連文書を参照）。

【0021】ここで、「先端距離」とは、その軸で駆動される駆動体（アーム）の運動軸（回転軸または直動軸）から測った駆動体の先端点（外力が作用する点。ロボットであれば、エンドエフェクタの先端点乃至これに準ずる点。例えば、アーム先端に装着されたハンドに設定されたハンド座標系の原点位置、アーム先端のフェイスプレート中心位置など。以下、同様。）までの回転半径を指すものとする。別の言い方をすれば、任意の軸に関する先端距離は、外力の作用点をその軸で駆動される駆動体（アーム）の運動軸に対して垂直な面（以後、「回転平面」と言う。）上に射影し、回転平面上でその運動軸に垂線を降ろした時の足の長さのことである（実施例は実施例を参照）。

【0022】この先端距離はロボットの姿勢に依存して変化するので、ロボットコントローラ内で柔軟制御指令の入力時のロボット姿勢に対応した先端距離が計算される。このような改良された方式を採用した場合には、サーボ制御の「柔らかさ」がロボット姿勢に影響を受けない利点が発揮される（詳しくは、実施例参照）。

【0023】以上が本願発明で利用されるソフトフローティングサーボ制御方法の概要である。上記説明から理解されるように、ソフトフローティングサーボによる制御の特徴は、強い外力がロボットに作用した時に、ロボットの機構部を駆動するサーボモータが無理にこれに打ち勝とうとして大きなトルクを出力しない点にある。

【0024】通常、この性質は障害物との強い干渉を避ける為に利用されるのであるが、本願発明ではこの性質を逆用し、ロボット乃至エンドエフェクタがワーク等の作業関連物に押し付けられる状況を作り、その時に受ける反力をロボットに作用する外力として利用し、ロボットをその反力が弱まる位置まで移動させる。

【0025】このような移動のプロセスは、多くの場合、ロボット作業に関連した対象物（把持ワーク、溶接ワーク、溶接ガン、嵌め合い対象ワークなど）にロボットが過剰に接近した押し付け状態から、最適な教示位置へ向けて必要量（ベクトル量）だけ修正シフトされた位置に移動するプロセスとみなすことが出来る。そこで、この修正シフトされた位置をロボットに教示すれば、精度の高い位置教示が実現されることになる。

【0026】

【実施例】 先ず、本実施例で利用されるソフトウェアによるソフトフローティングサーボ制御方法についてその概要を説明する。図1は、ソフトフローティングサーボ制御を実行する軸の制御に関するサーボ制御系のブロッ

ク図である。図の記載から明らかなように、ブロック図で見た御系の構成は図2に示した通常のサーボ制御系と基本的には共通したものであり、共通部分の繰り返し説明は省略する。図1に示した制御系が図2に示した通常のサーボ制御系と相違する点は、位置制御ループのポジションゲイン K_p 及び速度制御ループゲイン K_v が先端距離 D に応じて変更して、常に設定されたバネ定数を保つ点にある。

【0027】図3は、本願発明の実施例で使用されるロボットコントローラRCを関連機器と共に要部ブロック図で示したものである。先ず、ソフトフローティングサーボ制御に直接関係のある部分から説明すると、符号10はシステム全体を制御するホストコンピュータを表わしている。符号16は、ホストコンピュータ10から出力される移動指令や制御信号を後述のデジタルサーボ回路のプロセッサに引渡し、逆にデジタルサーボ回路のプロセッサからの各種信号をホストコンピュータ10に引き渡すための共有RAMメモリを表わしている。

【0028】また、符号17は、上述したサーボ制御を実行するデジタルサーボ（ソフトウェアサーボ）回路で、プロセッサ、ROM、RAM等のメモリ等で構成される。符号18は、ロボット30における各軸のサーボモータの位置のフィードバック値、速度のフィードバック値、電流のフィードバック値等が書き込まれる帰還レジスタを表わしている。

【0029】他の部分について見ると、ホストCPU10にはバスライン19を介してROM11、RAM12、不揮発性メモリ13、外部装置40とのインターフェイスの役割を果たす入出力装置（I/O）14、教示操作盤20とのインターフェイス（I/F）が接続されている。ROM11には、各種のシステムプログラムが格納される。ROM12は、ホストCPU10によるデータの一時記憶に使用されるメモリである。不揮発性メモリ13には、ロボット30及び外部装置40の動作内容に関する各種プログラム、関連設定値等が格納される。

【0030】教示操作盤20は、液晶ディスプレイ（LCD）及びキーボードKYを備え、通常の指令（プログラム再生運転指令、ジョグ送り指令、プログラムデータの入力/変更、関連設定値入力/変更等）が可能である他に、ソフトフローティングサーボ制御の開始/解除の指令の入力が可能である。

【0031】入出力装置14に接続される外部装置は、アプリケーションによって異なる。例えば、ワークの把持を伴う作業であればロボットハンド、スポット溶接であればスポット溶接装置（電源、溶接ガン等を含む。）が入出力装置14に接続される。

【0032】さて、本実施例で利用されるソフトウェアによるソフトフローティング制御の理解を容易にする為に、ここでロボット30として、図5に示したように、

J 1 軸と J 2 軸の 2 軸により構成される例を想定する。

【0033】この J 1 軸がモータにより駆動されて、回転平面の中心点を駆動体中心として J 1 軸が回転し、その J 1 軸に取り付けられている J 2 軸の先端の駆動体先端がワーク W に当接して力を作用する。J 2 軸の J 1 軸に対する姿勢は、J 1 軸の回転平面に対して J 2 軸のなす角度 θ により表される。ここで、J 1 軸のアーム長は L_1 、J 2 軸のアーム長は L_2 により表されるものとする。

【0034】図中の J 1 軸の駆動について、ソフトウェア * 10

$$Y/f = (D \cdot i^2) / (K_t \cdot K_p \cdot K_v) \quad \dots (1)$$

となる（この式の導出法については、ここでは省略する。詳しくは、前記出願関連文書を参照）。これを位置 *

$$K_p \cdot K_v = (D \cdot i^2) / \{K_t \cdot (Y/f)\} \quad \dots (2)$$

となる。ここで、バネ定数 Y/f を α (rag/kg) *

と設定した場合、前記 (2) 式は次式 (3) となる。 ☆

$$K_p \cdot K_v = (D \cdot i^2) / (K_t \cdot \alpha) \quad \dots (3)$$

従って、前記式 (3) において、駆動体（ロボット）の姿勢が変化して先端距離 D の値が変更されても、はじめに設定したバネ定数 α の値が変化しないようにするためには、位置ループゲイン K_p と速度ループゲイン K_v との積の値 $K_p \cdot K_v$ を先端距離 D の値に応じて前記

(3) の右辺に一致するように変更させればよい。 ☆

$$D = L_2 \cdot \cos \theta \quad \dots (4)$$

また、バネ定数 (= Y/f) を α (rag/kg) と設定した場合の位置ループゲイン p と速度ループゲイン K_v ◆

$$\begin{aligned} K_p \cdot K_v &= (D \cdot i^2) / (K_t \cdot \alpha) \\ &= (L_2 \cdot \cos \theta \cdot i^2) / (K_t \cdot \alpha) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

となる。この式 (5) において、駆動体（ロボット）の姿勢変化は角度 θ の角度変化として現れる。この角度 θ の変化により先端距離 D の値が変更されても、はじめに設定したバネ定数 α の値が変化しないようにするためには、式 (5) の左辺の項である位置ループゲイン K_p と速度ループゲイン K_v との積の値 $K_p \cdot K_v$ が、 θ の値に応じて変化する式 (5) の右辺の値となるように変更 *

$$K_{p0} : K_{v0} = K_p : K_v \quad \dots (6)$$

の関係から、

$$K_{p0} \cdot K_v = K_{v0} \cdot K_p \quad \dots (7)$$

の条件式を満足する必要がある。この条件式 (7) と前記式 (5) から、位置ループゲイン K_p 及び速度ループゲイン K_v について解き、ソフトフローティング制御を※

$$K_p f = \{ (K_{p0} \cdot i^2 \cdot L_2 \cdot \cos \theta) / (K_{v0} \cdot K_t \cdot \alpha) \}^{1/2} \quad \dots (8)$$

$$K_v f = \{ (K_{v0} \cdot i^2 \cdot L_2 \cdot \cos \theta) / (K_{p0} \cdot K_t \cdot \alpha) \}^{1/2} \quad \dots (9)$$

となる。

【0039】従って、ソフトウェアによって、位置ループゲイン K_p 及び速度ループゲイン K_v の値を、上記式 (8)、(9) により設定される値に変更してソフトフローティング制御を行うことにより、あらかじめ定め

* アによるソフトフローティング制御を実施する場合の処

理について説明する。

【0035】図 5 に示すロボット機構図において、駆動体先端にかかる力 f (例えば、kg) と駆動体の移動距離 Y (例えば、cm) との関係により表される柔軟制御のソフトフローティング制御の柔らかさの程度である駆動体のバネ定数 Y/f は、 D を駆動体中心から駆動体先端までの回転平面上での距離、 i をモータ側での減速比、 K_p を位置ループゲイン、 K_v を速度ループゲインとすると、

※ループゲイン K_p と速度ループゲイン K_v との積の値について解くと、

★【0036】

☆【0037】一方、図に示す 2 軸の駆動体において、J 1 軸は水平回転軸であり、駆動体の先端距離 D は J 2 軸の角度 θ と J 2 軸のアーム長 L_2 に依存し、次式 (4) により表される。

【0038】

◆ v の関係は前記式 (3)、(4) から

* させればよく、さらに、その制御安定性を崩さないためには位置ループゲイン K_p と速度ループゲイン K_v の比が一定であることが条件となる。そこで、通常動作時における位置ループゲインを K_{p0} 、速度ループゲインを K_{v0} として、位置ループゲイン K_p と速度ループゲイン K_v の比が一定となるように変更すると、

値のバネ定数により希望とする柔らかさの制御を行うことが出来る。

【0040】次に、前記した図 3 におけるデジタルサーボ回路 12 のプロセッサが実行する、ソフトウェアによるソフトフローティングサーボ制御の処理について、

図 5 及び図 6 に示す 2 軸の駆動体 (ロボット) の例につ

【0041】なお、前述したバネ定数 $\alpha = Y/f$ の値は設定済みであり、通常のサーボ制御を行うときのポジションゲイン Kp 、速度ループゲイン Kv の値は、 Kp_o 、 Kv_o として設定されているものとする。

【0042】本願発明では、位置教示されるべき位置へロボットを接近させる為に、ロボットがプログラム再生モードまたはジョグ送りモードで運転される。ソフトフ

ローティングサーボ制御は、ソフトフローティングサーボ制御開始指令によって開始される。この指令は、オペ

【0043】なお、プログラム再生あるいはジョグ送りによるロボット動作の内容、ソフトフローティングサーボ制御の開始指令の入力タイミング等については後述する。

【0044】デジタルサーボ回路 12 のプロセッサ 20

$$D = L2 \cdot \cos \theta$$

なお、 $L2$ は J2 軸のアーム長である。

【0046】次に、式 (10) で表される駆動体の先端距離 D を用いて、ソフトフローティング制御を行うときの位置ループゲイン Kp_f 、及び速度ループゲイン Kv_f ※

$$Kp_f = \{ (Kp_o \cdot i^2 \cdot D) / (Kv_o \cdot Kt \cdot \alpha) \}^{1/2} \dots (8)$$

$$Kv_f = \{ (Kv_o \cdot i^2 \cdot D) / (Kp_o \cdot Kt \cdot \alpha) \}^{1/2} \dots (9)$$

なお、 i は減速比である。

【0047】これにより、共有メモリ 11 には、通常の制御を行う場合の位置ループゲイン Kp_o 、及び速度ループゲイン Kv_o と、ソフトフローティング制御を行うときの位置ループゲイン Kp_f 、及び速度ループゲイン Kv_f が格納されることになる。

【0048】前記ステップ S6 までの工程により、サーボモータの制御を行う場合において、通常の制御に用いる位置ループゲイン Kp_o 、及び速度ループゲイン Kv_o と、ソフトフローティング制御に用いる位置ループゲイン Kp_f 、及び速度ループゲイン Kv_f のゲイン値が準備できたことになる。

【0049】そこで、次に、サーボモータの制御において、通常の制御を行うか、あるいはループゲインを駆動体の姿勢に応じて変更するソフトフローティング制御を行うかの判定を行い (ステップ S7)、その判定に応じて位置ループゲイン値の設定を行う (ステップ S8、9)。

【0050】ステップ S7 の判定は、手動によるオペレータからの柔軟制御指令の有無を判断することにより行うことができ、例えば、共有メモリ 11 内に設けたフラグを柔軟制御指令、及び解除指令によりセット、リセッ

* て位置・速度ループ処理周期毎に以下の如く図 4 に示す

処理を実行する。

【0045】デジタルサーボ回路 12 のプロセッサは、ホストコンピュータ 10 から共有メモリ 11 を介して送られてくる移動指令より移動指令 r を読み込み (ステップ S1)、ロボット 14 のモータ位置 y を読み込む (ステップ S2)。このモータ位置 y は、帰還レジスタ 13 に書き込まれている位置フィードバック値を用いることが出来る。また、図示していない入力装置により共有メモリ 11 にバネ定数 α を入力して、柔軟制御の柔らかさの程度の設定を行う (ステップ S3)。次に、ホストコンピュータ 10 から J2 軸のアーム角度 θ を取り込む (ステップ S4)。この J2 軸のアーム角度 θ は、ワークに力を印加するための駆動体を駆動するために、ホストコンピュータ 10 から駆動体に送られる角度信号を用いることが出来る。前記ステップ S4 で取り込んだ J2 軸のアーム角度 θ を用いて、駆動体の駆動体先端の位置を算出する (ステップ S5)。この駆動体の先端位置は、図 5、6 において、駆動体の回転平面上における駆動体中心から駆動体先端の投影位置までの距離 D として求められ、次式により表される。

$$\dots (10)$$

※ f を算出する (ステップ S6)。この位置ループゲイン Kp_f 、及び速度ループゲイン Kv_f の算出は、前記式 (8)、(9)、及び式 (10) から得られる前式 (8)、(9) を用いて行うことが出来る。

とし、そのフラグを監視することにより行うことが出来る。

【0051】前記ステップ S7 の判定において、ソフトフローティング制御によりループゲインを駆動体の姿勢に応じて変更する場合には、ソフトフローティング制御に用いる位置ループゲイン Kp_f を Kp の値とし (ステップ S8)、一方、通常制御を行う場合には通常的位置ループゲイン Kp_o を Kp の値とし (ステップ S9)、それぞれの値を共有メモリ 11 から読み出して設定する。

【0052】次に、前記ステップ S1 で読み込んだ移動指令 r から前記ステップ S2 で読み込んだモータ位置 y を減算して位置偏差 e を求め、その位置偏差 e に前記ステップ S8、9 で設定した位置ループゲイン Kp を乗算して速度指令 v_{cmd} を算出する (ステップ S10)。次に、モータ速度の取込みを行う (ステップ S11)。このモータ速度の取込みは、例えば、帰還レジスタ 13 内に書き込まれている速度フィードバック値を用いることが出来る。そして、速度ループゲインの設定を行うために、サーボモータの制御において、通常の制御を行うか、あるいはループゲインを駆動体の姿勢に応じて変更するソフトフローティング制御を行うかの判定を行い

(ステップ S 1 2)、その判定に応じて速度ループゲイン値の設定を行う(ステップ S 1 3、1 4)。

【0 0 5 3】ステップ S 1 2 の判定は、前記ステップ S 7 と同様に行うことが出来る。前記ステップ S 1 2 の判定において、ソフトフローティング制御によりループゲインを駆動体(ロボット)の姿勢に応じて変更する場合には、ソフトフローティング制御に用いる速度ループゲイン $K_v f$ を K_v の値とし(ステップ S 1 3)、一方、通常制御を行う場合には通常速度ループゲイン $K_v o$ を K_v の値とし(ステップ S 1 4)、それぞれの値を共有メモリ 1 1 から読み出して設定する。

【0 0 5 4】次に、前記ステップ S 1 0 で算出した速度指令 $v_c m d$ から前記ステップ S 1 1 で読み込んだモータ速度 v を減算して速度偏差を求め、その速度偏差に前記ステップ S 1 3、1 4 で設定した速度ループゲイン K_v を乗算してトルク指令 $T_c m d$ を算出する(ステップ S 1 5)。この算出したトルク指令 $T_c m d$ をアンプ等に出出力して、電流ループに引渡し(ステップ S 1 6)、当該位置・速度ループ処理周期の処理を終了する。

【0 0 5 5】前記位置・速度ループ処理を所定周期毎に繰り返すことにより、ソフトウェアによるソフトフローティングサーボ制御が行われ、駆動体(ロボット)の姿勢に応じて先端位置を求めて、その先端位置に応じた位置ループゲインと速度ループゲインによりサーボ制御を行い、設定したバネ定数の柔らかさを実施することが出来る。

$$D = D_2 + D_3$$

により表される。

$$D_2 = L_2 \cdot \cos \theta_2$$

$$D_3 = L_3 \cdot \cos \theta_3$$

この駆動体(ロボット)の J 1 軸についてのソフトウェアによるソフトフローティングサーボ制御の処理は、前記実施例の作用で説明したソフトフローチャートとほぼ同様にして行われる。前記フローチャートとの相違は、ステップ S 4 のアーム角度 θ の取込みと、ステップ S 5 の先端位置の算出である。

【0 0 6 0】アーム角度 θ の取込みにおいては、J 2 軸の J 1 軸に対する取付け角度を表す角度 θ_2 と、J 3 軸の J 2 軸に対する取付け角度を表す角度 θ_3 を取り込むことにより行うことができ、また、先端位置の算出においては、前記式(11)、(12)、及び(10)を用いて行うことが出来る。

【0 0 6 1】4 軸以上の多軸の場合においても同様にして、ホストコンピュータ 1 0 から駆動体に送られる角度信号等によりソフトウェアからの制御信号を用いることにより軸相互の位置関係を表す角度を逐次取込んで駆動体の姿勢を求め、その姿勢における位置ループゲインと速度ループゲインを求め、その求めたゲインにより制御を行うことができ、これにより、駆動体の姿勢変化した場合でも設定したバネ定数により所望の柔らかさによる制御を行うことが出来る。

*来る。

【0 0 5 6】以上が、ロボット 3 0 として、図 5 の構成(J 1 軸と J 2 軸の 2 軸)を想定した場合のソフトフローティングサーボ制御の処理の概要である。ロボット 3 0 が 3 軸以上の構成を有する場合についても、上記説明した処理の考え方を拡張して任意の駆動軸について、ソフトフローティングサーボ制御を実行することが出来る。

【0 0 5 7】例えば、図 7 及び図 8 に示す 3 軸の駆動体の例について簡単に説明すると次のようになる。図 7 及び図 8 に示す 3 軸の駆動体(ロボット)は、J 1 軸、J 2 軸、及び J 3 軸からなり、各軸が同一平面上にある例として回転する。J 1 軸の先端には J 2 軸が接続され、さらに該 J 2 軸の先端には J 3 軸が接続され、J 3 軸の先端を駆動体先端としてワーク W と当接する。そして、J 2 軸の J 1 軸に対する取付け角度は回転平面に対して θ_2 であり、J 3 軸の J 2 軸に対する取付け角度は回転平面に対して θ_3 である。従って、この駆動体の姿勢は、この角度 θ_2 、及び θ_3 により決定されることになる。なお、J 2 軸、及び J 3 軸のアーム長は、それぞれ L_2 、及び L_3 とする。

【0 0 5 8】この駆動体における先端距離 D は、図において J 2 軸、及び J 3 軸のアーム長を回転平面に投影した長さ D_2 、 D_3 の和であり、

$$\dots (11)$$

※ ※【0 0 5 9】なお、 D_2 、及び D_3 は次式で表される。

$$\dots (12)$$

$$\dots (13)$$

【0 0 6 2】以上が、本実施例で利用されるソフトフローティングサーボ制御の概要である。以下、このようなソフトフローティングサーボ制御とジョグ送りとを組み合わせるロボット的位置指示を行なう方法について、幾つかの例を挙げて説明する。

【0 0 6 3】以下の適用例 1 ~ 適用例 3 に示すように、本願発明の方法が適用可能なアプリケーションの条件は、「ロボットに対し、最適の指示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に外力が加わる状態は、ハンドの開閉等によって作り出される。

【0 0 6 4】まず、図 9 (1) ~ (4) は第 1 の適用例を説明する状態推移図である。

【0 0 6 5】〔適用例 1〕これは、据置型の溶接ガンを使用したスポット溶接への適用例であり、システム構成としては、図 3 における外部装置 4 0 としてスポット溶接装置を配したものを使用する。各図において、溶接ガン(全体図は省略)の先端部が符号 G_1 、 G_2 で表わされている。先端部 G_1 、 G_2 は、ホスト CPU 1 0 からの指令に従って閉成/開成動作を行なう(上下方向矢印参照)。

【0066】溶接対象ワークは、2枚の板状部材W1、W2を重ねたものをまとめて符号Wで表わされている。ワークWは、ロボットアームAMの先端部に装着されたハンドHに堅く把持されている。符号W0は、溶接点に対応して設定されたツール先端点を表わしている。

【0067】本願発明の適用にあたっては、ロボットを図9(1)に示した初期位置から溶接ガンG1、G2に接近させ、図9(2)の状態とする。この状態へのロボット移動は、粗い位置教示後の再生運転によって行なっても良いし、ジョグ送りによっても良い。また、両者を組み合わせて利用しても構わない。

【0068】図9(2)の状態では、ツール先端点W0は位置P0にあるものとする。この位置(姿勢を含む。以下、同様)P0は、図9(1)に符号Q0で示した最適の教示位置とは少量ずれていることが通常である。何故ならば、位置P0の教示あるいはジョグ送りに、高精度を期待するのは一般に困難であるからである。図中では、特にロボットの姿勢に無視出来ないずれがある状態が描かれている。

【0069】次いで、動作プログラムあるいは教示操作盤20からの入力により、ソフトフローティングサーボ制御の開始指令をホストCPU10から発し、ソフトフローティングサーボ制御を開始させる。更に、溶接ガンG1、G2の閉成指令によって溶接ガンG1、G2の閉成動作を開始する。やがて、溶接ガンG1、G2は図9(3)に示したように、ワークWに接触してワークW、ハンドHを介してロボットに力を及ぼす状態となる。

【0070】ロボットは、ソフトフローティングサーボ制御が行なわれている為に、この反力に抗しきれずに、矢印AR1で示した向きに移動を開始する。この移動は、溶接ガンG1、G2の閉成動作が進み、図9(4)の状態(閉成完了)まで続行される。図9(4)の状態においては、ロボットの位置(特に、姿勢)が図9(2)の状態から修正され、最適な位置Q0により近いロボット位置が実現されているものと考えられる。

【0071】そこで、この図9(4)の状態、位置教示を実行すれば高精度の位置教示が実現される。粗い位置教示によって位置P0の位置データが不揮発性メモリ13に書き込み済みである場合には、その位置データが書き直される。また、初めての位置教示の場合(位置P0への移動はジョグ送り)であれば、図9(4)の状態における現在位置データに基づいて、新規に位置データが不揮発性メモリ13の位置データ書込領域に書き込まれる。位置教示が終わったら、溶接ガンG1、G2を開成し、ロボットを退避させた上でソフトフローティングサーボ制御を解除する。

【0072】なお、この適用例の変形として、ワークWに代えてポータブルガンをロボットに装着し、位置決めされたワークに対してロボットを接近させ、ソフトフローティングサーボ制御の下で、ポータブルガンを閉成さ

せる態様が考えられる。この場合には、ポータブルガンを介してロボットに作用する力によってロボットがより適正な教示位置へ移動され、移動後の位置が教示される。

【0073】[適用例2]これは、ロボットハンドによるハンドリングへの適用例であり、システム構成としては、図3における外部装置40としてハンド(開閉装置)を配したものを使用する。各図において、ロボットのアーム先端AMの装着されたハンドHの把持部が符号H1、H2で表わされている。ハンドHの把持部H1、H2は、ホストCPU10からの指令に従って閉成/開成動作を行なう(左右方向矢印参照)。

【0074】ハンドリング対象ワークWは、ポータブルガンの上B上に固定的に位置決めされている。ハンドHによるワークWのハンドリングは、把持部H1、H2の閉成動作によってワークWの突起部PRを挟むことで達成されるものとする。このケースで把持を確実に行為には、突起部PRを把持部H1、H2で挟む時のロボットの姿勢が特に重要である。なお、符号H0は、ハンドHの軸線上に設定されたツール先端点を表わしている。

【0075】本願発明の適用にあたっては、ロボットを図10(1)に示した初期位置からワークWに接近させ、図10(2)の状態とする。この状態へのロボット移動は、適用例1の場合と同じく、粗い位置教示後の再生運転によって行なっても良い。また、ジョグ送りによっても良く、両者を組み合わせても構わない。

【0076】図10(2)の状態では、ツール先端点H0は位置P0にあるものとする。この位置(姿勢を含む。以下、同様)P0は、適用例1の場合と同じく、図10(1)に符号Q0で示した最適の教示位置とは少量ずれていることが通常である。

【0077】次いで、動作プログラムあるいは教示操作盤20からの入力により、ソフトフローティングサーボ制御の開始指令をホストCPU10から発し、ソフトフローティングサーボ制御を開始させる。更に、溶接ガンG1、G2の閉成指令によって溶接ガンG1、G2の閉成動作を開始する。やがて、把持部H1、H2は図10(3)に示したように、ワークWに接触してハンドHを介してロボットに力を及ぼす状態となる。

【0078】ロボットは、ソフトフローティングサーボ制御が行なわれている為に、この反力に抗しきれずに、矢印AR2で示した向きに移動を開始する。

【0079】この移動は、把持部H1、H2の閉成動作が進み、図10(4)の状態(閉成完了)まで続行される。図10(4)の状態においては、ロボットの位置(特に、姿勢)が図10(2)の状態から修正され、最適な位置Q0により近いロボット位置が実現されているものと考えられる。

【0080】そこで、この図10(4)の状態、位置教示を実行すれば高精度の位置教示が実現される。適用

例 1 の場合と同じく、粗い位置指示によって位置 P0 の位置データが不揮発性メモリ 13 に書き込み済みである場合には、その位置データが書き直される。また、初めての位置指示の場合（位置 P0 への移動はジョグ送り）であれば、図 10 (4) の状態における現在位置データに基づいて、新規に位置データが不揮発性メモリ 13 の位置データ書込領域に書き込まれる。位置指示が完了したら、把持部 H1, H2 を開成し、ロボットを退避させた上でソフトフローティングサーボ制御を解除する。

【0081】〔適用例 3〕これは、ロボットハンドによるローディングへの適用例であり、システム構成としては、図 3 における外部装置 40 としてハンド（開閉装置）並びにチャッキング（開閉装置）を配したものを使用する。図 11 (1) ~ (4) において、符号 CH1 ~ CH4 で表わされたチャッキング部材を有するチャック CH（全体描図は省略）は、例えば工作機械のワーク保持部に使用されてるものである。これらのチャッキング部材 CH1 ~ CH4 は、ホスト CPU 10 からの指令に従って拡張/収縮方向に閉成/開成動作を行なう（各矢印参照）。

【0082】ロボットのハンド H からチャック CH にローディングされるワーク W は、ロボットのアーム AM に装着されたハンド H の把持部 H1, H2 によって把持されているものとする。そして、ワーク W のローディングは、ロボット移動によってワーク W をチャッキング部材 CH1 ~ CH4 で取り囲まれた空間領域に搬送し、チャッキング部材 CH1 ~ CH4 の閉成動作によってワーク W の四側の側面を挟むことで達成されるものとする。

【0083】このケースでローディングを支障なく行なうためには、ワーク W の四辺側面をチャッキング部材 CH1 ~ CH4 で挟む時のロボットの姿勢が特に重要である。なお、符号 H0 は、ハンド H の軸線上に設定されたツール先端点を表わしている。また、符号 CH0 はローディングの為に最適と考えられる教示点を表わしたものである。

【0084】本願発明の適用にあたっては、ロボットを図 11 (1) に示した初期位置からチャック CH に接近させ、図 11 (2) の状態とする。なお、図 11 (2) ~ 図 11 (4) においては、ワーク W の位置とチャッキング部材 CH1 ~ CH4 の状態のみを抽出して図 11 (1) の矢印 C の方向から見た平面図で描示した。この状態へのロボット移動には、適用例 1, 2 の場合と同じく、粗い位置指示後の再生運転あるいはジョグ送りが適宜利用される。

【0085】図 11 (2) の状態では、ツール先端点 H0 は位置 P0 にあるものとする。この位置 P0 は、最適の教示位置 CH0 とは少量ずれている。次いで、動作プログラムあるいは教示操作盤 20 からの入力により、ソフトフローティングサーボ制御の開始指令をホスト CPU 10 から発し、ソフトフローティングサーボ制御を開

始させる。更に、チャック CH に対する閉成指令によってチャッキング部材 CH1 ~ CH4 の閉成動作を開始する。やがて、チャッキング部材 CH1 ~ CH4 の内の一または全部は図 11 (3) に示したように、ワーク W に接触してワーク W、ハンド H を介してロボットに力を及ぼす状態となる。

【0086】ロボットは、ソフトフローティングサーボ制御が行なわれている為に、この反力に抗しきれずに、矢印 AR3 で示した向きに移動を開始する。

【0087】この移動は、チャッキング部材 CH1 ~ CH4 の閉成動作が進み、図 11 (4) の状態（閉成完了）まで続行される。図 11 (4) の状態においては、ロボットの位置（特に姿勢）が図 11 (2) の状態から修正され、最適な位置 CH0 により近いロボット位置が実現されている。

【0088】そこで、この図 11 (4) の状態で、位置指示を実行すれば高精度の位置指示が実現される。適用例 1, 2 の場合と同じく、粗い位置指示によって位置 P0 の位置データが不揮発性メモリ 13 に書き込み済みである場合には、その位置データが書き直される。また、初めての位置指示の場合（位置 P0 への移動はジョグ送り）であれば、図 11 (4) の状態における現在位置データに基づいて、新規に位置データが不揮発性メモリ 13 の位置データ書込領域に書き込まれる。位置指示が完了したら、チャッキング部材 CH1 ~ CH4 を開成し、ロボットを退避させた上でソフトフローティングサーボ制御を解除する。

【0089】以上 3 つの適用例について説明したが、本願発明はこれらの適用例に限定されれうものではない。即ち、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力をロボットに加え得る環境にある教示位置について教示を行なうケースであれば、上記各事例で説明した考え方を状況に応じて適用し、本願発明の方法を実施することが可能である。

【0090】なお、本願発明の方法を実施する際にソフトフローティングサーボ制御を実行する軸は、ロボットの全軸とすることも出来るが、必ずしもそうする必要はない。即ち、ロボットが不必要な運動方向について「柔らかく」ならない為に、ソフトフローティングサーボ制御を実行する軸を限定することも可能である。ソフトフローティングサーボ制御を実行する軸の選択にあたっては、使用されるロボットの軸構成、アプリケーションのタイプ、特に、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に受ける反力の作用方向が考慮される。例えば、上記各適用例 1 ~ 3 においては、矢印 AR1 ~ AR3 で示した方向へのロボットの移動を許容する柔らかさがロボットに要求される。従って、少なくともこのような移動に対応した運動自由度に関連した軸については、ソフトフローティングサーボ制御を行なうこと

が必要である。

【0091】

【発明の効果】以上説明したように、本願発明によれば、スポット溶接、ハンドリング、ローディング等のように、最適の教示位置からずれた位置にロボットが存在する時に該位置ずれを修正する方向に作用する外力がロボットに加わり得る環境が与えられたアプリケーションについて、位置教示作業の作業負担を軽減し、短時間で高精度の位置教示を行なうことが出来る。

【0092】また、ソフトフローティングサーボ制御時のソフトフローティング機能のパネ定数がロボット姿勢に影響されないようにした方式を採用すれば、ロボット姿勢によらず変動しない柔らかさをもったソフトフローティングサーボ制御の下で、位置教示を行なうことが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本願発明のソフトウェアによるソフトフローティングサーボ制御方法を実施するサーボ制御系のブロック図である。

【図2】従来のサーボ制御系のブロック図である。

【図3】本願発明の実施例で使用されるロボットコントローラRCを関連機器と共に要部ブロック図で示したものである。

【図4】本願発明の実施例における位置・速度ループ処理の概要を記したフローチャートである。

【図5】ロボットとして、2軸により構成される一例を想定した場合の構成を説明する図である。

【図6】図5による説明を補助する為の平面図である。

【図7】ロボットとして、3軸により構成される一例を想定した場合の構成を説明する図である。

【図8】図7による説明を補助する為の平面図である。

【図9】(1)～(4)は本願発明の方法の第1の適用例(スポット溶接)を説明する状態推移図である。

【図10】(1)～(4)は本願発明の方法の第2の適用例(ハンドリング)を説明する状態推移図である。

【図11】(1)～(4)は本願発明の方法の第3の適用例(ローディング)を説明する状態推移図である。

【符号の説明】

1 位置ループのポジションゲインの項

2 速度ループゲインの項

4 モータの伝達関数の項

5 モータ速度からモータ位置を求める伝達関数

10 10 ホストCPU

11 ROM

12 RAM

13 不揮発性メモリ

14 入出力装置

15 インターフェイス

16 共有RAM

17 デジタルサーボ回路

18 帰還レジスタ

19 教示スライダ

20 教示操作盤

30 ロボット

40 外部装置

AM ロボットアーム(先端部)

AR1, AR2 反力によるロボット移動方向

20 CH チャック

CH0, Q0 最適の教示位置

CH1～CH4 チャッキング部材

G1, G2 溶接ガン(先端部)

H ハンド

H0, W0 ツール先端点

H1, H2 ハンド先端部

J イナーシャ

KB キーボード

Kp ポジションゲイン

30 Kv 速度ループゲイン

Kt トルク定数

LCD 液晶ディスプレイ

PR 突起部

P0 粗い精度で教示された教示点

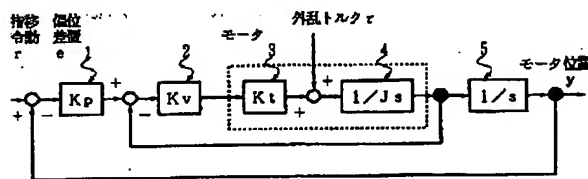
RC ロボットコントローラ

TB ワークテーブル

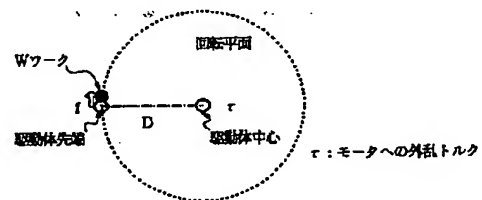
W1, W2 板状部材

W ワーク

【図2】

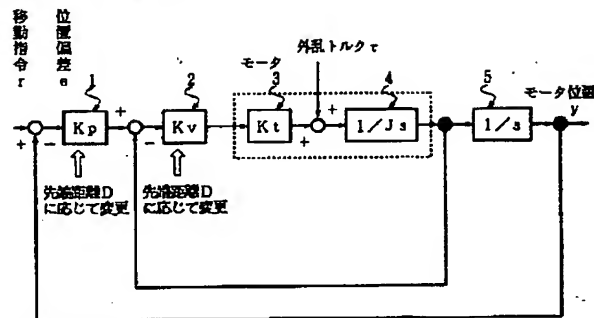


【図6】



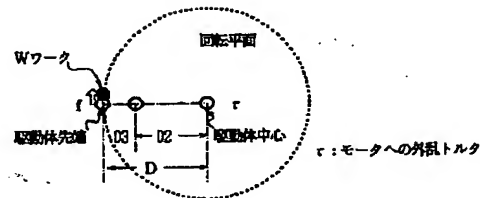
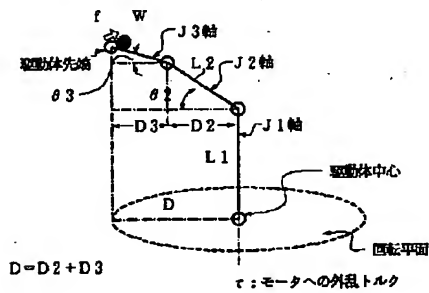
【図 1】

【図 5】

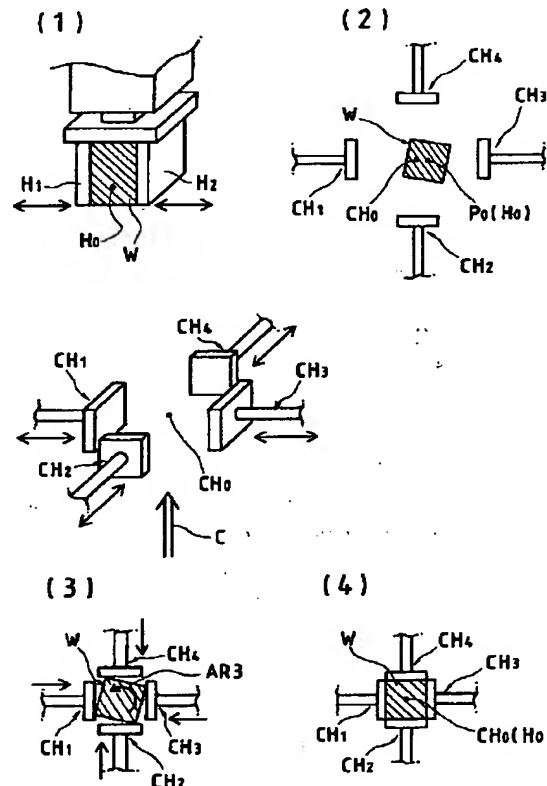


【図 7】

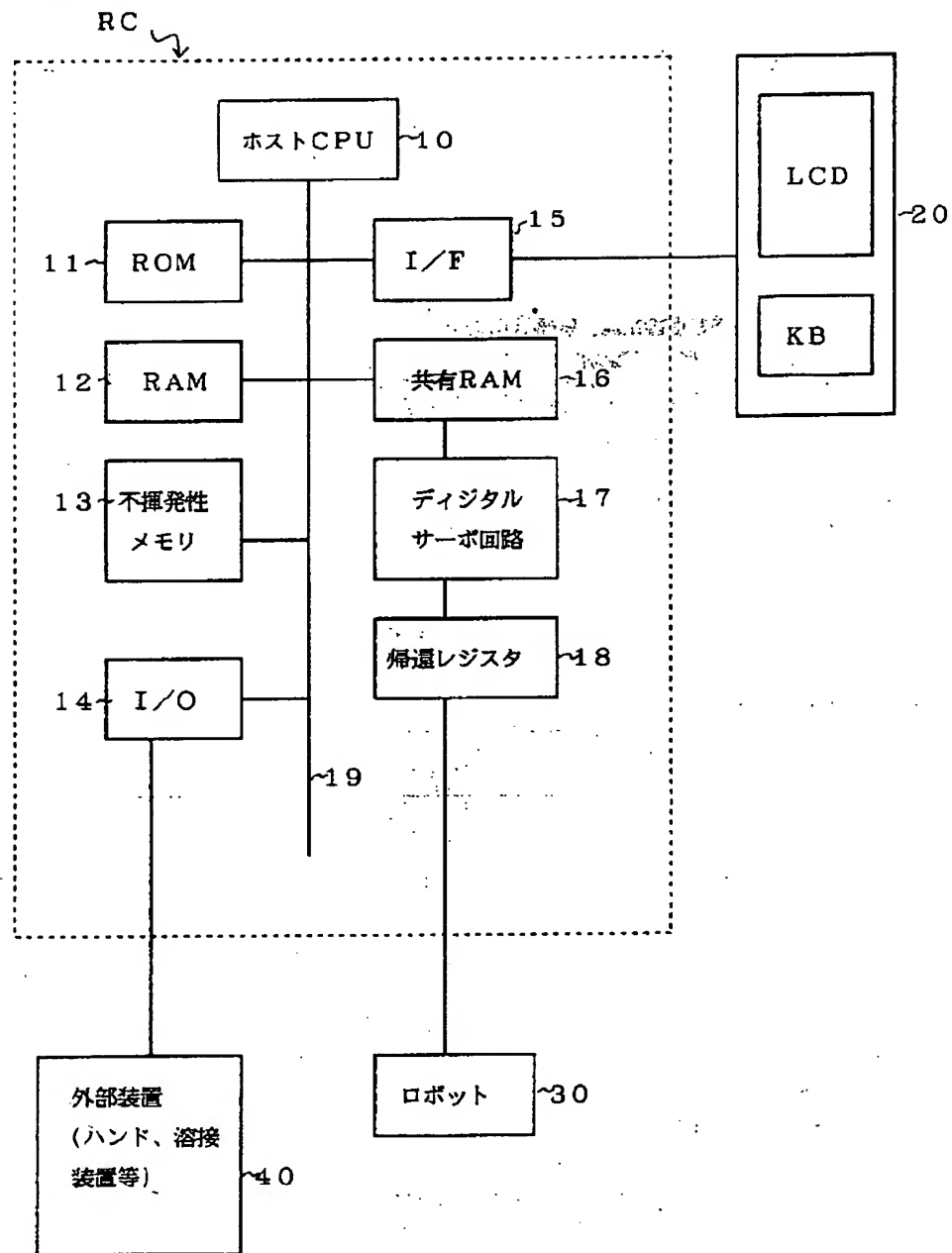
【図 8】



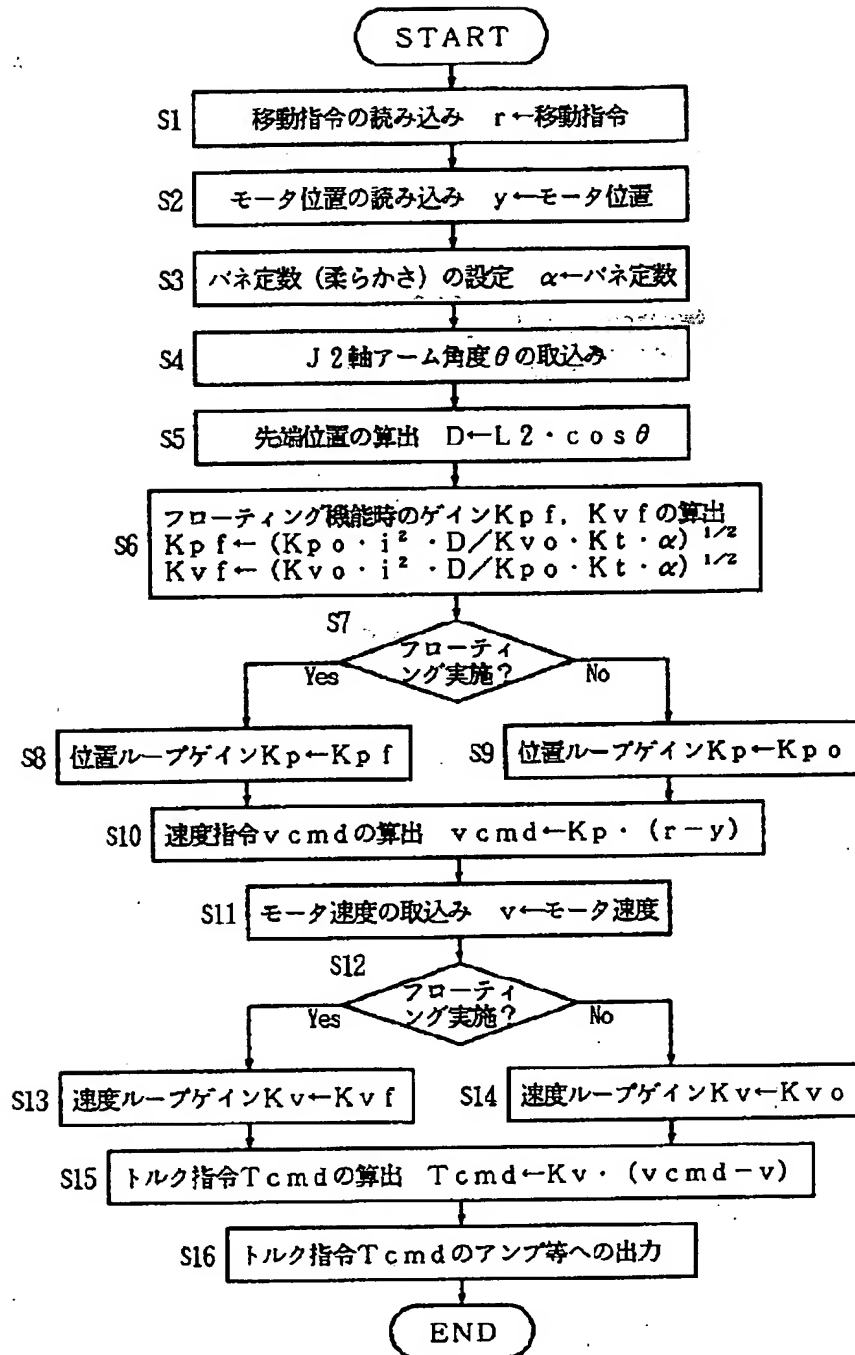
【図 11】



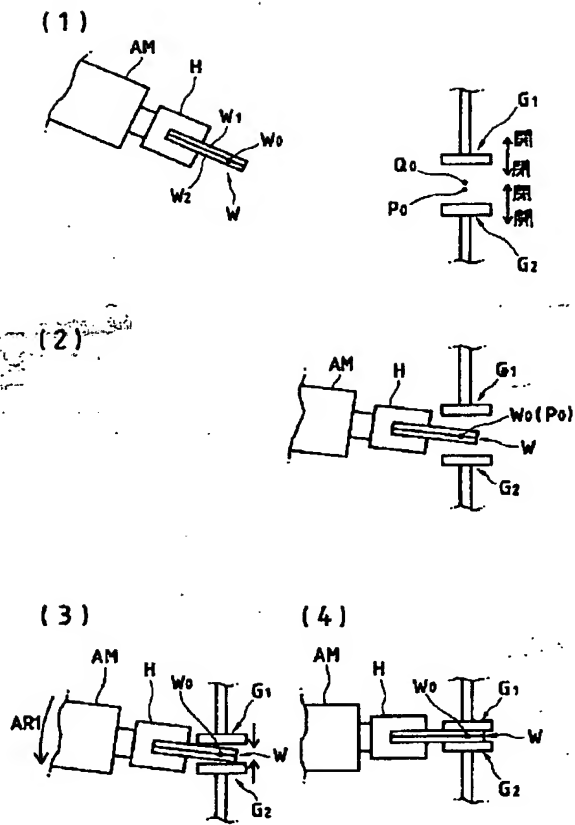
【図3】



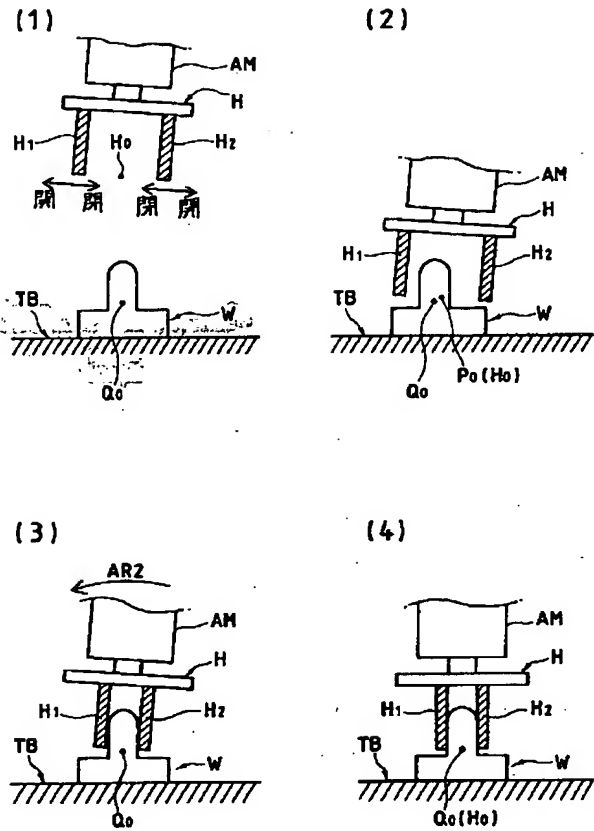
【図4】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

G 0 5 D 3/12

識別記号 庁内整理番号

3 0 5 V

3 0 6 Z

F I

技術表示箇所

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.